



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Ю.Г. СУХЕНКО, І.П. ПАЛАМАРЧУК, М.М. ЖЕПЛІНСЬКА,  
М.М. МУШТРУК, Д.П. ЖУРАВЕЛЬ

# НАДІЙНІСТЬ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ГАЛУЗІ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

КИЇВ 2019

**Міністерство освіти і науки України  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України**

**Ю.Г. Сухенко, І.П. Паламарчук, М.М. Жеплінська,  
М.М. Муштрук, Д.П. Журавель**

# **Надійність обладнання харчової галузі**

**Навчальний посібник**

**Київ  
ЦП «КОМПРИНТ»  
2019**

**УДК 531.01** Рекомендовано вченою радою НУБіП України як  
**ББК 30.12я723** навчальний посібник для студентів вищих навчальних  
**С91** закладів (протокол № 2 від 25.09.2019 р.)

Рецензенти: доктор технічних наук, професор Мілько Д.О.  
(Таврійський державний агротехнологічний університет);  
доктор технічних наук, професор Савуляк В.І.  
(Вінницький національний технічний університет);  
доктор технічних наук, професор Лопатько К.Г,  
(Національний університет біоресурсів  
і природокористування України)

**С91 Сухенко Ю.Г., Паламарчук І.П., Жеплінська М.М., Муштрук М.М.,  
Журавель Д.П. Надійність обладнання харчової галузі. Навчальний  
посібник. – К. ЦП «КОМПРИНТ», 2019. – 370 с.  
ISBN 978-966-929-840-6**

У структурному плані навчального посібника включені основи надійності обладнання, що використовується у харчових виробництвах; сучасні розрахункові методики, які базуються на стохастичному моделюванні, оптимізації та теорії ймовірності, що призначені для підготовки студентів у вищих навчальних закладах за спеціальністю 181 «Харчові технології».

Навчальний посібник може бути корисним науковим співробітникам, аспірантам і працівникам харчової і переробних галузей АПК.

ISBN 978-966-929-840-6

**УДК. 531.01**  
**ББК 30.12я723**

© Ю.Г. Сухенко, І.П. Паламарчук, М.М.  
Жеплінська, М.М. Муштрук, Д.П. Журавель  
© НУБіП України, 2019

## ЗМІСТ

	Стор.
ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	6
<b>РОЗДІЛ 1 ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ГАЛУЗІ.</b>	<b>8</b>
<b>НАДІЙНІСТЬ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ</b>	
1.1 Основні поняття, властивості та показники надійності	8
1.1.1 Фізична сутність надійності	9
1.1.2 Одиничні і комплексні властивості та показники надійності	12
1.2 Аналітичне визначення показників надійності	20
1.2.1 Показники безвідмовності невідновлюваних об'єктів	21
1.2.2 Показники безвідмовності відновлюваних об'єктів	33
1.3 Надійність технологічних та технічних систем	40
1.3.1 Поняття технічної системи	40
1.3.2 Математична оцінка надійності системи	41
1.3.3 Надійність послідовних систем	42
1.3.4 Надійність паралельних систем	43
1.3.5 Надійність комбінованих систем	46
1.4 Прогнозування і забезпечення надійності виробів в різні періоди існування	48
1.4.1 Період проектування	48
1.4.2 Період виробництва	55
1.4.3 Період експлуатації	56
1.5 Якість, ефективність і економічність технічних об'єктів і систем	59
1.5.1 Якість і надійність виробів	59
1.5.2 Надійність об'єктів і систем та їх ефективність	61
1.5.3 Економічні показники надійності	66
1.6 Оцінка впливу технологічних середовищ на технологічність обладнання	67
1.6.1 Характеристика деяких середовищ харчової і переробної промисловості	67
1.6.1.1 Середовища бурякоцукрових виробництв	68
1.6.1.2 Середовища олієжирових підприємств	69
1.6.1.3 Середовища м'ясопереробних підприємств	70
1.6.1.4 Середовища молокопереробних виробництв	71
1.6.1.5 Середовища хлібопекарських заводів	72
1.6.1.6 Середовища крохмалопаточкових виробництв	74
1.7 Вплив технологічних середовищ харчової промисловості на зносостійкість деталей обладнання галузі	75
1.7.1 Обладнання цукробурякових заводів	76
1.7.2 Зношування устаткування олійних виробництв	80

1.7.3	Спрацювання обладнання м'ясопереробних підприємств	81
1.7.4	Зношування обладнання молокопереробних заводів	82
1.7.5	Ерозійне і гідроабразивне зношування в середовищах галузі	85
1.7.6	Кавітаційно-ерозійне зношування технологічного обладнання	88
1.8	Підвищення опору спрацюванню харчового обладнання – запорука забезпечення його довговічності	94
1.8.1	Збільшення довговічності ножів м'ясорізальних вовчків	94
1.8.2	Підвищення довговічності і надійності відцентрових електронасосів	96
1.8.3	Раціональний вибір матеріалів – універсальний спосіб забезпечення довговічності обладнання	98
<b>РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСІВ ЗНОШУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ</b>		<b>108</b>
2.1.	Зношування та руйнування деталей і машин	108
2.1.1	Зношування як наслідок взаємодії твердих тіл під час тертя	108
2.1.2	Природа і класифікація процесів зношування	109
2.1.3	Вплив на зношування змащування	112
2.1.4	Класифікація методів вимірювання зношування	114
2.1.5	Принципи вибору зносостійких матеріалів	117
2.2	Зношування спряжень	119
2.2.1	Класифікація спряжень за умовами зношування	119
2.2.2	Основні етапи розрахунку спряжень на зношування	123
2.2.3	Розрахунок на зношування конічних поверхонь	126
2.3	Зношування механізмів	129
2.3.1	Зношування жорсткоз'єднаних кільцевих напрямних	129
2.3.2	Спільне зношування плоских напрямних	131
2.3.3	Спільне зношування похилих напрямних	134
2.4	Зношування машин	138
2.4.1	Зношування технологічного обладнання	138
2.4.2	Основні методи підвищення машин. Вибір раціональної конструкції механізмів	139
2.4.3	Регламентування показників зношування машини і з умови її надійності	148
2.5	Випробування на надійність	150
2.5.1	Мета та види випробувань на надійність	150
2.5.2	Випробування стійкості матеріалів	152
2.5.3	Побудова кривої втоми	159
2.5.4	Побудова сімейства кривих втоми	162
2.6	Моделі відмов	162
2.6.1	Зв'язок між ступенем пошкодження і вихідними параметрами виробу	162
2.6.2	Загальна схема формування відмов	164

2.6.3	Модель формування поступової відмови виробу	164
2.6.4	Приклад розрахунку ресурсу та імовірності безвідмовної роботи виробу	166
2.6.5	Критерії оцінки граничного тану за вихідним параметром	167
	<b>РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ</b>	172
3.1	Оцінка конструктивно-технологічних характеристик матеріалів	172
3.1.1	Вивчення основ технічних вимірювань і засобів вимірювання параметрів при випробуваннях та дослідженнях деталей машин	172
3.1.2	Розрахунок параметрів зношування деталей методом штучних баз	195
3.1.3	Визачення повного і залишкового технічного ресурсу, допустимого зносу деталей та їх з'єднань	203
3.1.4	Оцінка технологічних властивостей матеріалів	215
3.2	Оцінка надійності технічних систем	235
3.2.1	Вибір та аналіз показників надійності виробів	235
3.2.2	Оцінка показників надійності невідновлюваних виробів	248
3.2.3	Побудова функції надійності за результатами випробувань на надійність	272
3.2.4	Розрахунок основних параметрів довговічності технічних систем	279
3.2.5	Розрахунок основних параметрів безвідмовності технічних систем	287
3.2.6	Розрахунок основних параметрів безвідмовності приводних пасів клинопасової передачі	301
3.3	Оцінка показників надійності технічних систем	307
3.3.1	Розрахунок параметрів надійності клинопасової передачі	307
3.3.2	Розрахунок основних параметрів надійності підшипників кочення	313
3.3.3	Розрахунок основних параметрів надійності зубчатої передачі	318
3.3.4	Розрахунок основних параметрів надійності валів при одноразових перенавантаженнях	329
3.3.5	Наближений розрахунок основних параметрів надійності валів при циклічних навантаженнях	335
3.4	Розрахунок заходів підвищення надійності технічних систем	339
3.4.1	Оцінка заходів підвищення параметрів надійності технічних систем методом резервування	339
3.4.2	Надійність послідовної технічної системи при нормальному розподілі навантажень	362
	<b>СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	367

## ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Загальні положення і правила поведінки студентів у лабораторіях навчального закладу і сільськогосподарських переробних і харчових виробництв. На першому лабораторному занятті зі студентами проводиться інструктаж з охорони праці в лабораторіях навчального закладу і сільськогосподарських переробних та харчових виробництв з наступною його реєстрацією за підписом студента у спеціальному журналі з техніки безпеки.

Щоб запобігти травматизму студентів і виходу з ладу устаткування, технологічного оснащення та приладів викладач знайомить кожного студента з правилами охорони праці під час роботи на конкретному обладнанні, що застосовується у кожній лабораторній роботі.

Забороняється:

- приступати до виконання лабораторних робіт без ознайомлення з правилами охорони праці;
  - вмикати агрегат чи лінію без дозволу навчального майстра або викладача;
  - торкатися руками рухомих частин, механізмів, інструментів і заготовок;
  - видаляти або очищати робочі органи машини від продуктів на ходу;
  - підходити до машин у розстебнутих халатах, із розстебнутими рукавами, без головного убору;
  - застосовувати надмірні зусилля під час регулювання механізмів;
  - палити і забруднювати приміщення лабораторії, псувати майно.
- Студент зобов'язаний:
- виконувати тільки ту роботу, яку доручив йому викладач;
  - здавати своє робоче місце навчальному майстрові або

викладачеві прибраним;

- повідомляти навчального майстра або викладача про всі несправності обладнання, які виникають під час лабораторної роботи;
- знати місця розташування засобів пожежогасіння та правила користування ними;
- не втручатися в роботу студентів, які виконують іншу лабораторну роботу.

**Загальні правила охорони праці під час роботи в переробних цехах і виробничих лабораторіях НДГ НУБіП України:**

- перед початком роботи заправити одяг, застебнути рукава, прибрати волосся під головний убір, підготувати робоче місце для безпечної роботи, прибрати все зайве з робочої площі машини;
- перевірити і підготувати до роботи необхідні прилади та технологічне оснащення;
- перевірити цілісність заземлювальної шини машини і надійність контактів;
- перевірити справність світильника місцевого освітлення;
- перевірити роботу агрегата, лінії на холостому ході під наглядом навчального майстра;
- перевірити справність дії систем змащування і охолодження;
- перевірити відсутність сторонніх предметів у бункерах продуктів;
- перед увімкненням лінії переконатися, що її пуск нікому не загрожує травмуванням;
- застосовувати тільки вказаний викладачем режим роботи лінії і будь-яку його зміну погоджувати з викладачем або навчальним майстром.



## РОЗДІЛ 1 Основи надійності обладнання галузі НАДІЙНІСТЬ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ

### 1.1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ВЛАСТИВОСТІ ТА ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ

Практика експлуатації машин і обладнання в харчовій і переробній галузях агропромислового комплексу (АПК) створила передумови для формування і розвитку такої наукової дисципліни „Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв”. Це наука про методи забезпечення надійності і довговічності технічних об'єктів (машин і апаратів) і технологічних ліній (систем) при проектуванні і виготовленні та збереженні їх у період експлуатації.

Головні завдання цієї науки такі:

- встановлення видів кількісних показників надійності;
- розробка методів аналітичної оцінки надійності;
- розробка методів оцінки надійності за результатами випробувань;
- забезпечення і оптимізація показників надійності і довговічності на стадіях – розробки, виготовлення і експлуатації технічних об'єктів.

**Надійність і довговічність** – це ті властивості технічних об'єктів, які характеризують їх роботу в часі, тобто визначають ступінь і характер змін, які проходять в них при експлуатації. Визначення надійності і довговічності будь-якого виробу машинобудування базується на понятті його працездатності.

**Працездатність** – стан об'єкта, який характеризується його здатністю виконувати усі потрібні функції, обумовлені технічною документацією, до настання відмови.

Технічна документація передбачає рівень зовнішніх дій, методи технічного обслуговування і ремонту об'єктів, норми і допустимі відхилення від встановлених параметрів. Наприклад, для дифузійного апарата цукрового заводу це буде встановлений рівень висолоджування бурякової стружки. Для металорізального верстата - це точність обробки

## ДОДАТКИ

і якість обробленої поверхні, продуктивність, затрати часу на його налагодження і ремонт, ККД (коефіцієнт корисної дії) та інші показники працездатності.

**Відмова** – це така подія, яка заключається в порушенні працездатності машини (апарата), або її елемента. Признаки (критерії) відмов рекомендується обумовлювати в технічній документації на виробу заданого типу.

Час виникнення відмови та час роботи об'єкта між відмовами є випадковими величинами. Це пояснюється випадковими змінами умов експлуатації об'єкта, відмінністю в кваліфікації обслуговуючого персоналу особливостями, технологічного процесу (різними показниками якості матеріалів, налагодженням апаратури і систем, стомленістю обслуговуючого персоналу), умовами транспортування сировини і готової продукції тощо.

Необхідність підналагоджування машини, яка регламентована умовами експлуатації і обслуговування і зв'язана з недостатньою ступінню якості самої машини, не потрібно включати до поняття “відмова”. Наприклад, підналагодження і зміна інструменту на металорізальних верстатах, регулювання окремих механізмів та інші профілактичні роботи включені в нормативи технологічного і міжремонтного обслуговування. Чим вища ступінь досконалості машини, тим менше таких “узаконених” відмов, тим більше пристосована машина до безперервної безвідмовної роботи.

### **1.1.1. ФІЗИЧНА СУТНІСТЬ НАДІЙНОСТІ**

Об'єкти, що відмовили, зазвичай відновлюються. Оскільки відмови можуть виникати внаслідок втрати працездатності елементами різного типу, розташованих у різних місцях складної технічної системи, то час їх відновлення теж є випадковою величиною.

При вивченні закономірностей відмов найцікавішим є визначення місця виникнення відмови і проміжків часу відновлення та роботи об'єкта між відмовами. Випадковий характер процесів дозволяє стверджувати, що математичним апаратом теорії надійності є теорія імовірностей та математична статистика. Однак, потрібно мати на увазі, що теорія надійності є самостійною наукою, а не окремим розділом теорії імовірностей. Вона є технічною, а не математичною дисципліною, а коло задач, що вона розв'язує, не обмежується задачами теорії ймовірностей.

Методи теорії імовірностей дозволяють досліджувати закономірності відмов, як масових випадкових явищ. Вони не дозволяють передбачити час і місце виникнення даної відмови (наприклад, першої). Тому зазвичай кажуть про надійність цілого класу однотипних об'єктів, а не одного конкретного зразка. Але це не означає, що імовірнісні методи не дають змогу робити висновки про надійність конкретного зразка. Спостерігаючи за потоком відмов під час тривалої експлуатації даного зразка, можна робити висновки про його надійність, а також про надійність цілого класу однотипних об'єктів

Відмові завжди передують складні внутрішні зміни в системі. Вони можуть проявлятися по-різному, залежно від типу об'єкта, місця та характеру відмови. В одній технічній системі зростає спожита потужність, збільшуються внутрішні витрати, зменшується коефіцієнт корисної дії (ККД) тощо. В іншій - спостерігається дестабілізація характеристик, з'являються непередбачені зміни вихідних параметрів. Спостерігаючи за цими змінами можна в кожний момент часу визначити запас надійності системи, передбачити появу відмови, своєчасно її ліквідувати або не допустити. Ці проблеми розв'язує теорія діагностування - наука, що досліджує технічні стани та форми їх виявлення в об'єктах, розробляє методи оцінювання технічних станів, принципи побудови і застосування систем діагностування. Кінцевою метою діагностування є зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт, забезпечення встановленого

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский С.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

Вайнберг А.А., Котляр Л.И. Эксплуатационная надежность оборудования зерноперерабатывающих предприятий. – М.: Колос, 1971. – 207 с.

Гузенков П.Г. Детали машин. - М.: Высшая школа., 1993. – 358 с.

Дж. Диксон. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений. – М.: Мир, 1969. – 440 с.

ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. Введ. 01.-1.95.

ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.

ДСТУ 2864-94. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. – Введ. 01.01.96.

Елизаветин М.А. Повышение надежности машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 430 с.

Ердеді О.О., Анікін І.В., Медведєв Ю.О., Чуйков О.С. Технічна механіка . – К.: Вища школа., 1983. – 368 с.

Ефективність технічних систем / ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1991. – 227 с.

Єрмолов Л.С., Кряжков В.М., Черкун В.Е. Основы надежности сельскохозяйственной техники – М.: Колос, 1982. – 149 с.

Заблонский К.И., Беляев М.С., Тезис И .Я. и др. Прикладная механика. – К.: Вища школа , 1984. – 274 с.

Інтенсифікація процесів і захиста обладнання харчових виробств / Г.П. Тищенко, Н.Д. Хоменко, В.Ю. Сухенко і др. // Під ред. Ю.Г. Сухенко. – К.: «ДІА», 2006. – 224 с.

Л.С. Ермолаев, В.М. Кряжков, В.Е. Черкун. Основы надежности сельскохозяйственной техники. – М.:Колос, 1982. – 271 с.

Мушик Е., Мюллер П. Методы принятия технических решений. – М.: Мир, 1990. – 208 с.

Мушик, Е.Мюллер П. Методы принятия технических решений. – М.: Мир, 1990. – 208 с.

Нагірний Ю.П. Обґрунтування інженерних рішень. – К. Урожай, 1994. – 216 с.

Надежность и эффективность в технике. Справочник: в 10 т; Т3 / Ред. совет: В.С. Авдеевский и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 362 с.

Надежность технических систем /В.А.Пучин, О.Н.Дидманидзе, П.П.Лезин – М.: УМЦ Триада, 2005. – 351 с.

Надійність сільськогосподарської техніки / С. Г. Гранкін, В. С. Малахов, М. І. Черновол, В. Ю. Черкун; За ред. В.Ю. Черкуна. –К.: Урожай,1998. – 208 с.

Осецкий В.М., Горбачев В.Г., Доброборский Г.А. и др. Прикладная механика. - М.: Машиностроение , 1977. – 488 с.

Павлище В.Т. Основы конструювання та розрахунок деталей машин - К.: Вища школа., 1993. – 555 с.

Прейс Г.А., Сологуб Н.А., Некоз А.И. Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности. - М.: Машиностроение , 1979.- 208 с.

Путята Т.В., Можаровский Н.С., Соколов Н.Г. и др. Прикладная механика. – М.: Машиностроение, 1985. – 192 с.

Рогов И.А., Забашта А.Г., Казюлин Г.П. Общая технология мяса и м'ясопродуктів. – М.: Колос, 2000. – 367 с.

Рогов И.А., Забашта А.Г., Казюлин Г.П. Общая технология мяса и м'ясопродуктів. – М.: Колос, 2000. – 367 с.

Селиванов А.И., Артемьев Ю.Н. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. – М.:Колос,1978. – 248 с.

Сердюк М.Є. Методичний посібник до виконання лабораторно-практичних робіт – Мелітополь, ТДАТА. 2003 – с. 25.

Серый И.С. и др. Курсовое и дипломное проектирование по надежности и ремонту машин – М.: Агропромиздат, 1991. – с. 63.

Сухенко В.Ю., Таран В.М., Сухенко Ю.Г. Прогнозування надійності і довговічності обладнання харчових виробництв за інтенсивністю корозії //Цукор України: Наук.-практ. галузев. журнал. – 2006, № 1-2 (45). – С. 44-46.

Сухенко Ю.Г., Литвененко О.А., Сухенко В.Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: Підручник – К.: НУХТ, 2010. – 547 с.

Сухенко Ю.Г., Некоз О.І., Стечишин М.С. Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості. – К.: Елерон, 1993. – 107 с.

## **НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ**

**Сухенко Юрій Григорович**

доктор технічних наук, професор

**Паламарчук Ігор Павлович**

доктор технічних наук, професор

**Жеплінська Марія Михайлівна**

кандидат технічних наук, доцент

**Муштрук Михайло Михайлович**

кандидат технічних наук, доцент

**Журавель Дмитро Павлович**

доктор технічних наук, професор

**Надійність обладнання харчової галузі**

**Навчальний посібник**

Формат 60x84/16 наклад 300 пр. Ум. друк. арк. 25,8 Зам. № 1226.

Виготовлювач ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ»

03150, Київ, вул. Предславинська, 28

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру  
суб'єкта видавничої справи ДК № 4131 від 04.08.2011 р.